



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH BETONOVÉHO MOSTU O JEDNOM POLI

DESIGN OF A ONE-SPAN CONCRETE BRIDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Erik Barkáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Erik Barkáč
Název	Návrh betonového mostu o jednom poli
Vedoucí práce	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry

Základní normy:

ČSN 736201: Projektování mostních objektů

ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Z předběžného návrhu možných typů mostních konstrukcí preferujte trémovou nebo deskovou monolitickou konstrukci o jednom poli z předpjatého betonu.

V práci zpracujte dvě až tři studie mostu včetně jejich zhodnocení. Most můžete navrhnout kolmý.

Dimenzování proveďte podle EN v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Radim Nečas, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh a posúdenie betónového mostu o jednom poli. Nosná konštrukcia je jednopolová predpjatá doska dĺžky 20m. Zaťaženie je vypočítané pomocou programu Scia Enginner a porovnané s ručným výpočtom. Návrh a posúdenie je prevedené podľa európskych noriem. Fázy výstavby v tejto práci neboli uvažované.

KLÍČOVÁ SLOVA

Predpjätý betón, doskový most, medzný stav únosnosti, medyný stav použiteľnosti, jedno pole.

ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis is to design and analysis a one-span concrete bridge. The supporting structure is one-span prestressed slab with the lenght of 20m.the load effect is calculated by Scia Enginner and compared with manual calculation. The design and assesment are according to the europien standards. The time dependent analysis is not treated in this work.

KEYWORDS

Prestressed concrete, slab bridge, one-span, ultimate limit state, serviceability limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Erik Barkáč *Návrh betonového mostu o jednom poli*. Brno, 2017. 37 s., 74 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2017

Erik Barkáč
autor práce

POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať vedúcemu bakalárskej práce, pánovi Ing. Radimovi Nečasovi Ph.D. za odborné vedenie.

OBSAH

ÚVOD	10
1 ŠTÚDIE NÁVRHU MOSTNEJ KONŠTRUKCIE.....	11
1.1 Variant A	11
1.2 Variant B	12
1.3 Variant C	13
1.4 Voľba varianty	13
2 GEOMETRIA A TECHNICKÉ RIEŠENIE MOSTU	14
2.1 Hlavná nosná konštrukcia	14
2.2 Mostný zvršok.....	15
2.2.1 Vozovka.....	15
2.2.2 Rímsy.....	15
2.2.3 Záchytné systémy	16
3 VÝPOČTOVÝ MODEL	17
4 ZAŤAŽENIE.....	18
4.1 Stále.....	18
4.1.1 Vlastná tiaž	18
4.1.2 Ostatné stále.....	18
4.1.3 Premenné zaťaženie.....	18
5 KOMBINÁCIE.....	24
5.1 Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti.....	24
5.2 Kombinácie pre medzný stav únosnosti.....	24
6 NÁVRH PREDPÄTIA	25
6.1 Podmienky v čase t_0	25
6.2 Podmienky v čase t_{00}	26
6.3 Návrh počtu lán	27
6.3.1 Parametre navrhnutých lán	27
7 NÁVRH KÁBLOVÝCH DRÁH	28
8 MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI.....	29
9 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI.....	30
9.1 Posúdenie na ohyb.....	30
9.2 Posúdenie na šmyk.....	31

9.3	VÝSLEDNÉ SCHÉMA VÝSTUŽE.....	31
	ZÁVER.....	33
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	34
	ZOZNAM TABULIEK.....	35
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	36
10	ZOZNAM PRÍLOH.....	37

ÚVOD

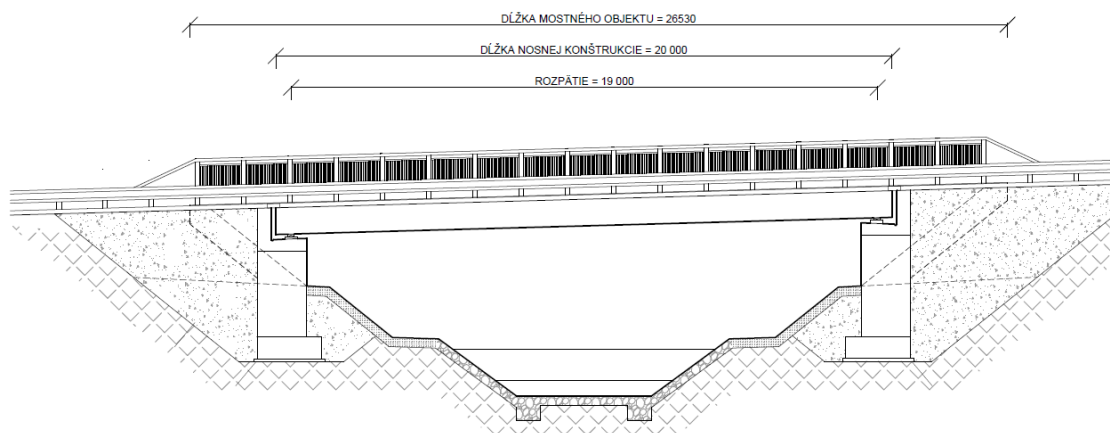
Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh doskového mostu o jednom poli, ktorý prevádza cestnú komunikáciu S 9,5 cez potok. Lokalita nebola presne určená, preto pre zjednodušenie práce bolo miesto, terén, koryto potoka a hladiny zvolené. Budú vypracované 3 varianty, z ktorých bude jedna vybraná pre podrobný statický výpočet. Mostný objekt bude zaťažený zostavami podľa platných európskych noriem ČSN EN 1992-2: Zaťaženie mostov dopravou. Vnútorne sily budú získané pomocou program SCIA Engineer 2016 a následne budú overené ručným výpočtom pomocou metódy vzdorujúcej šírky. Dimenzovanie bude prevedené podľa platnej európskej normy ČSN EN 1992-2: Návrh betonových konštrukcií.

Táto textová časť má za úlohu previesť postupom návrhu konštrukcie. Podrobné výpočty budú k dispozícii v prílohe P.3 - Statický výpočet.

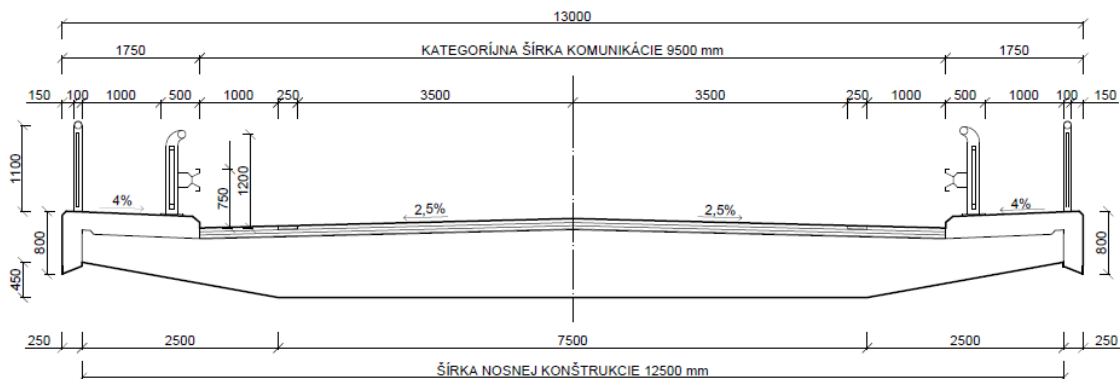
1 ŠTÚDIE NÁVRHU MOSTNEJ KONŠTRUKCIE

1.1 Variant A

Prvý variant tvorí lichobežníková predpätá doska, ktorá prevádza komunikáciu kategórie S 9,5 cez miestny potok. Doska je uložená na masívnych operách, ktoré ležia na plošnom základe. Výška dosky bola odvodená na základe doporučených rozmerov doskových predpätých mostov a po overení napätia v betóne bola výška zvolená 800 mm. Vďaka spádovaniu cestnej komunikácie má doska premennú výšku po celom priereze.



Obr. 1 - Pozdĺžny rez - variant A [1]

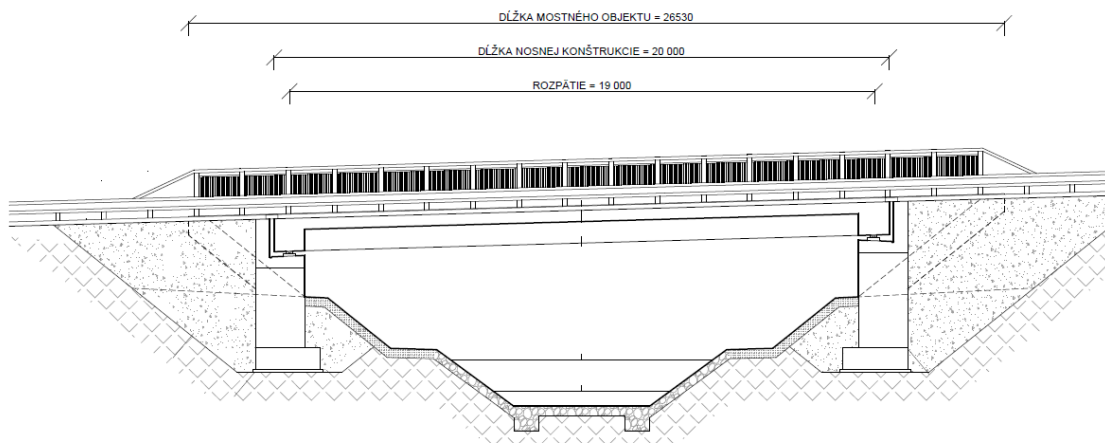


Obr. 2 - Priečny rez - variant A [1]

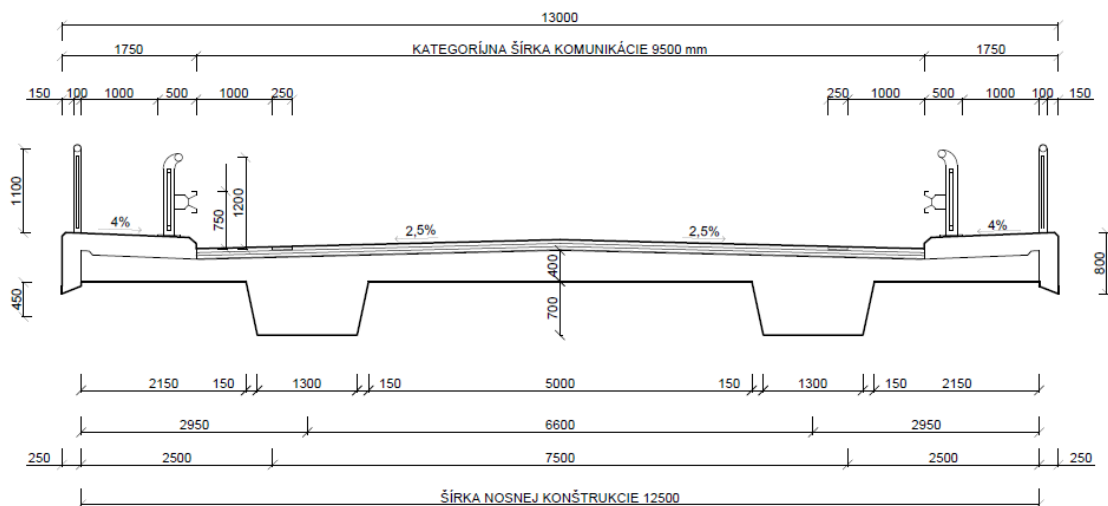
1.2 Variant B

Druhú variantu tvorí dvojtrámová predpätá mostná konštrukcia, kde betónová doska o šírke 400 mm je podporovaná dvomi betónovými trámami, v ktorých sú umiestnené predpínacie káble. Takýto variant nám umožňuje pomerne dlhé rozpätie mostu pri malej hrúbke dosky.

Avšak pri betónových mostoch o jednom poli malého rozpätia aké je v tomto prípade potrebné, je dvojtrámová konštrukcia veľmi nezvyklé a komplikované riešenie.



Obr. 3 - Pozdĺžny rez - variant B [1]

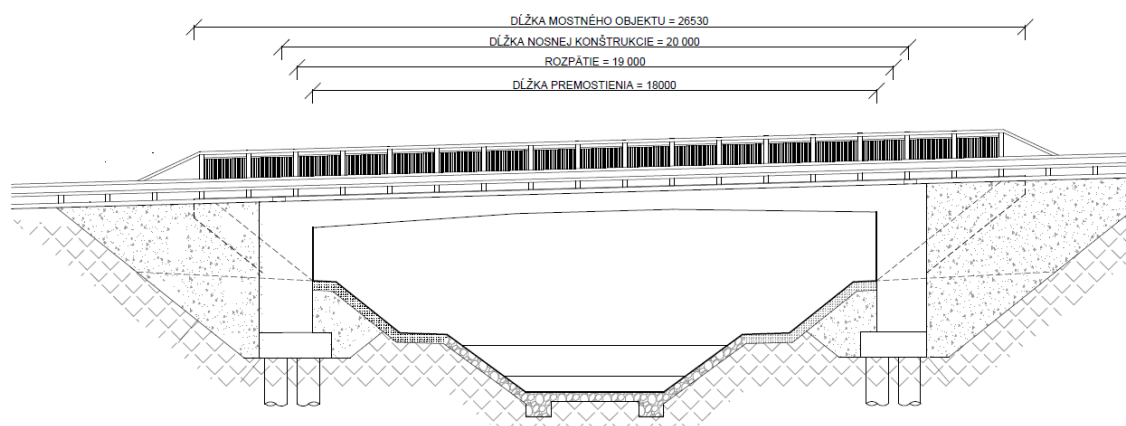


Obr. 4 - Priečny rez - variant B [1]

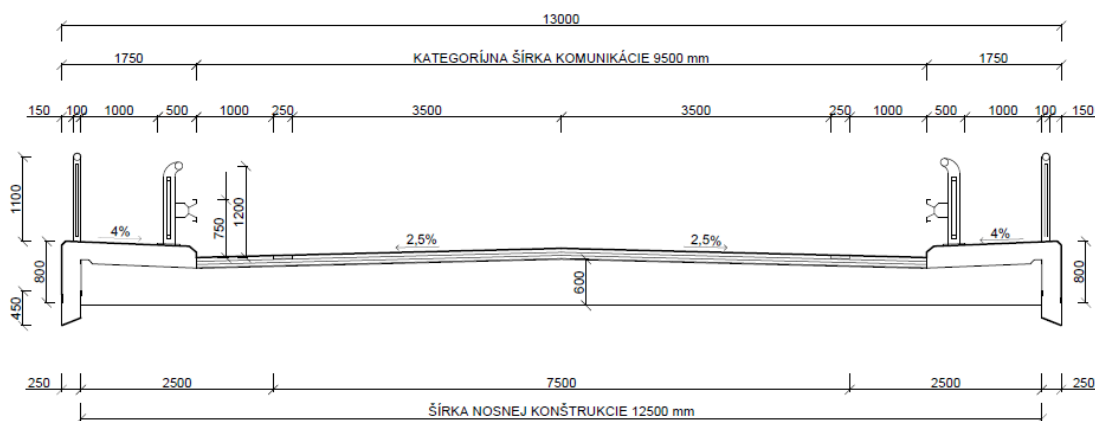
1.3 Variant C

Ako tretí variant bol navrhnutý železobetónový rámový most obdĺžnikového prierezu. Železobetónová doska je nábehovaná v smere jazdy, kde v najužšej časti mostnej konštrukcie má výšku 700 mm a ose rámových stojok má výšku 950 mm. Boli navrhnuté pomerne široké opery, ktoré tvoria s nábehovanou doskou nosnú rámovú konštrukciu mostu.

Ďalším pozitívnym aspektom tohto variantu sú nízke náklady na prevádzku a údržbu, tiež nie je potreba inštalovať mostný záver na prepojenie cestnej komunikácie a mostného objektu.



Obr. 5 - Pozdĺžny rez - variant C [1]



Obr. 6- Priečny rez - variant C [1]

1.4 Voľba varianty

Pre podrobné spracovanie bola zvolený variant A, ktorý svojím konštrukčným riešením a estetickým dojmom je najvhodnejšie variantom. Bola uprednostnená pred variantom B a C.

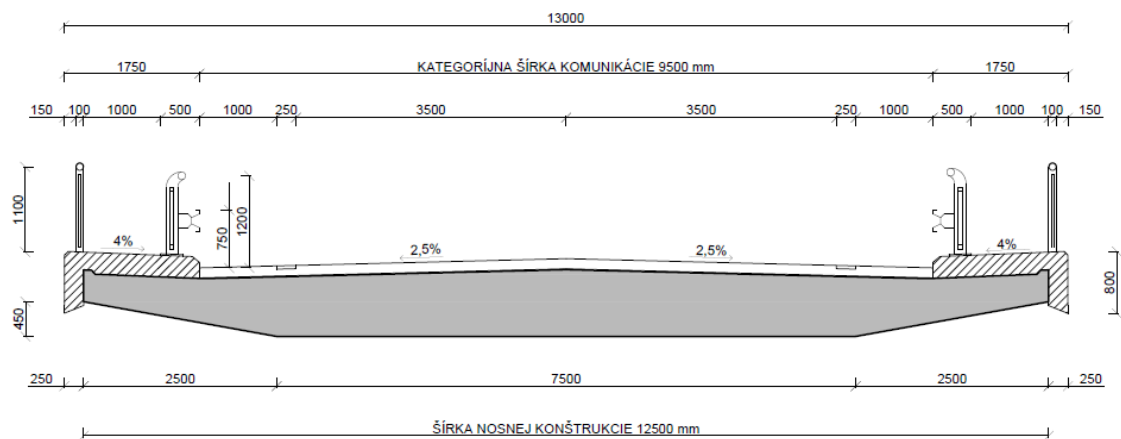
2 GEOMETRIA A TECHNICKÉ RIEŠENIE MOSTU

2.1 Hlavná nosná konštrukcia

$$L = 19\,000 \text{ mm}$$

$$h_d = \left(\frac{1}{25} \sim \frac{1}{20}\right) L = \left(\frac{1}{25} \sim \frac{1}{20}\right) 19\,000 = 760 \sim 950 \rightarrow 800 \text{ mm}$$

Nosná konštrukcia mostného objektu je tvorená dodatočne predpätou betónovou doskou s rozpätím 19 m a šírkou 12,5 m. Jedná sa o lichobežníkový prierez a typ cestnej komunikácie S 9,5. Výška dosky je premenná po celej šírke nosnej konštrukcie, kvôli priečnemu sklonu komunikácie a skosení na oboch koncoch. V ose mostu je výška dosky 865 mm a na kraji má výšku 360 mm. Sklon nivelety je 3% a uhol kríženia 90°.

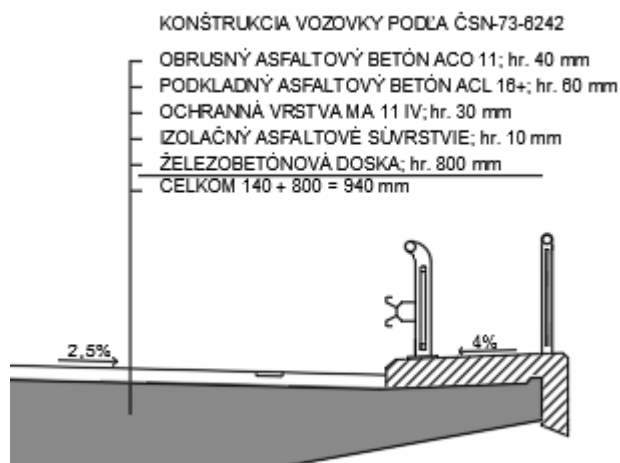


Obr. 7- Šírkové usporiadanie konštrukcie [1]

2.2 Mostný zvršok

2.2.1 Vozovka

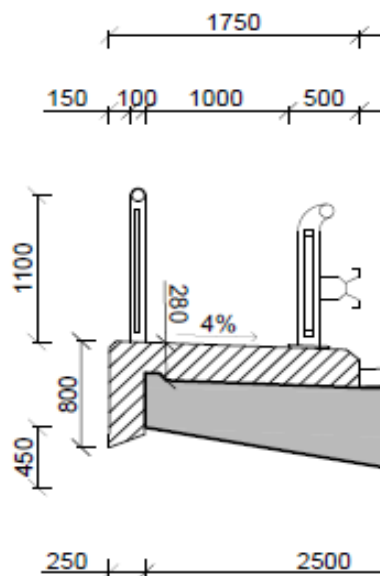
Vozovka prenáša zaťaženie od dopravy do nosnej konštrukcie, bola navrhnutá ako netuhá o hrúbke 140 mm. Skladá sa z vrstvy obrusnej, podkladnej a izolačného súvrstvia. Vozovka bola navrhnutá podľa ČSN 73-6242.



Obr. 8 - Zloženie vozovky [1]

2.2.2 Rímky

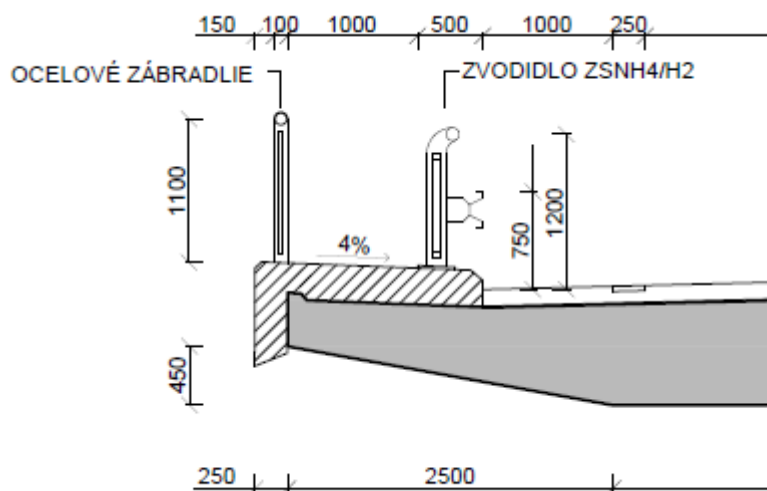
Na moste sú navrhnuté železobetónové prefabrikované rímky z betónu C 30/37 a z oceli B 500B. Rímky slúžia ako upevňovadlo pre záchytné systémy na moste, sú vyspádované v 4% sklone a majú hrúbku 280 mm.



Obr. 9 - Rozmery rímky [1]

2.2.3 Záchytné systémy

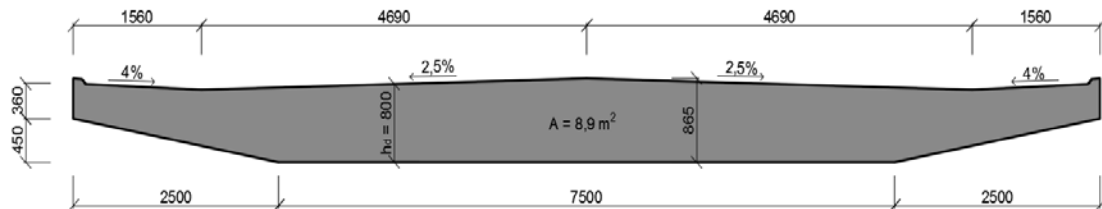
Na moste sú umiestnené zábradelné zvodidlá typu ZSNH4/H2, ktoré zaisťujú bezpečnostnú medzeru medzi premávkou na moste a chodcami. Ďalej je na moste uložené oceľové zábradlie o výške 1100 mm, ktoré spolu so zábradelným zvodidlom tvorí koridor pre chodcov.



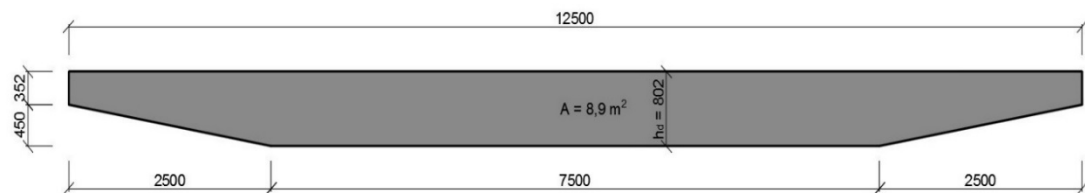
Obr. 10 - Usporiadanie záchytných systémov [1]

3 VÝPOČTOVÝ MODEL

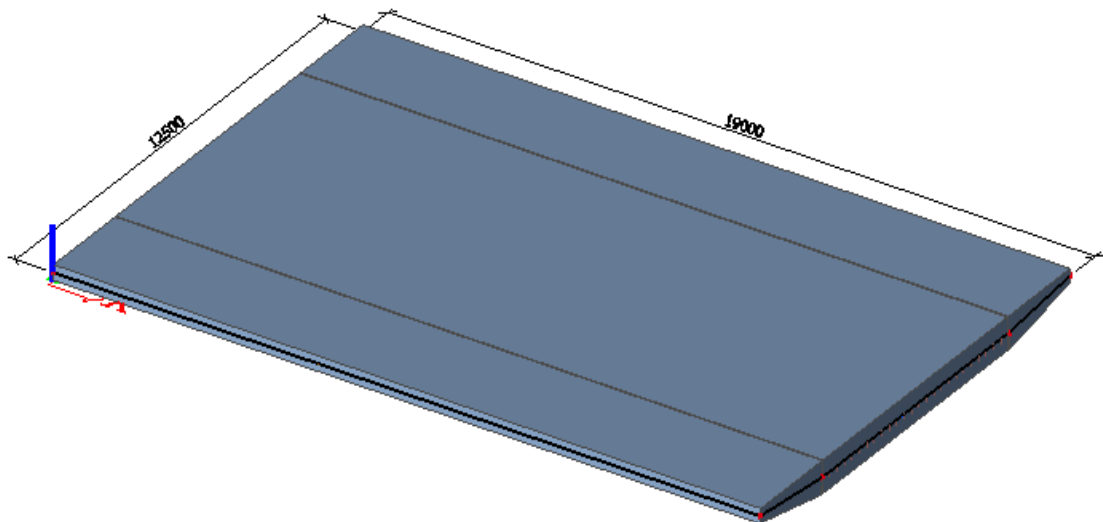
Pre potreby výpočtového programu SCIA Engineer bolo potrebné čo najviac vystihnúť účinky danej doskovej konštrukcie priečného rezu vozovky. Pre zjednodušenie vymodelovania dosky bola prepočítaná skutočná výška dosky tak, aby bola zachovaná plocha prierezu, a tým bolo docielené čo najlepšie vystihnúť výpočtového modelu.



Obr. 11 - Prierez so skutočnou výškou [1]



Obr. 12 - Prierez s prepočítanou výškou [1]



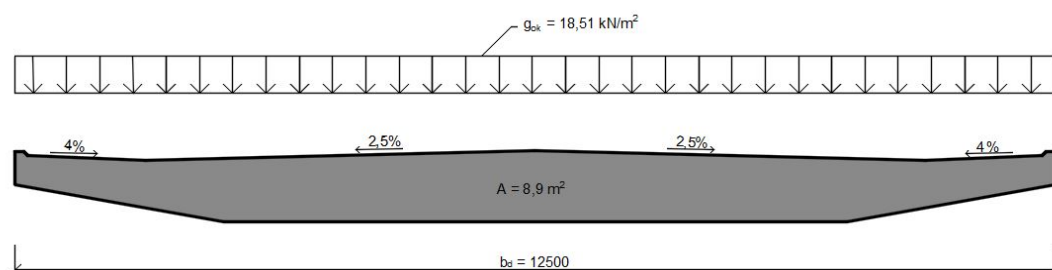
Obr. 13 - Výpočtový model doskovej konštrukcie [2]

4 ZATAŽENIE

4.1 Stále

4.1.1 Vlastná tiaž

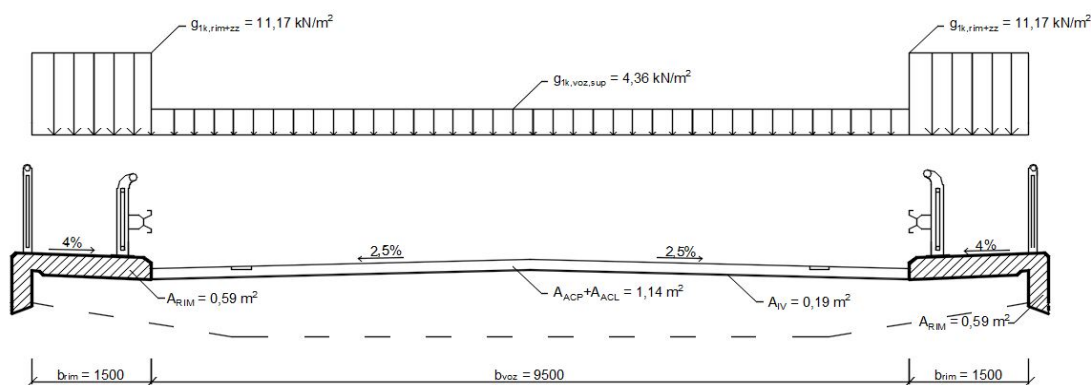
Vlastná tiaž bola generovaná programom SCIA Engineer a overená ručným výpočtom, kde plocha priečného rezu bola prepočítaná na líniové zaťaženie a následne bol vypočítaný maximálny ohybový moment.



Obr. 14 - Zaťaženie vlastnou tiažou - ručný výpočet [1]

4.1.2 Ostatné stálie

Pri výpočte ostatného stáleho zaťaženia boli rímky, zábradlie a vozovka prepočítané na plošné zaťaženie, ktoré bolo následne aplikované do výpočtového programu SCIA Engineer 2016.



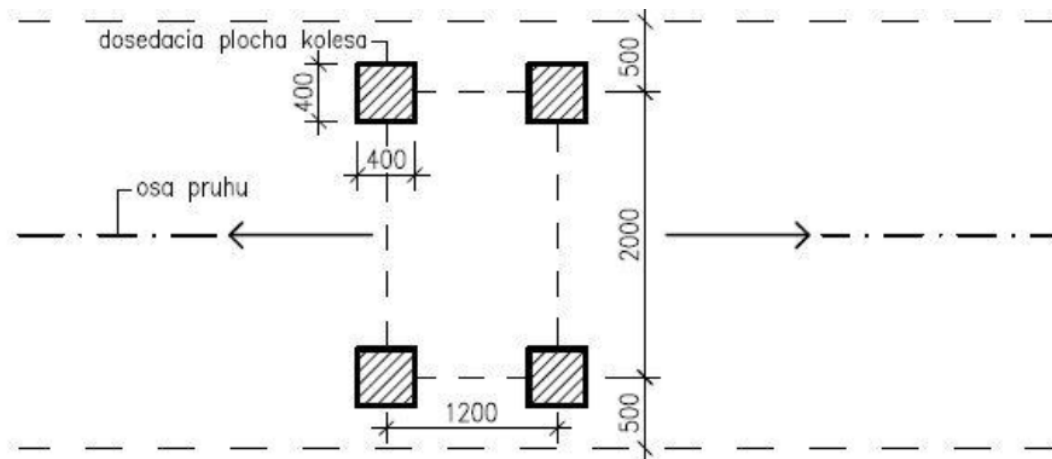
Obr. 15 - Zaťaženie mostu ostatným stálym zaťažením [1]

4.1.3 Premenné zaťaženie

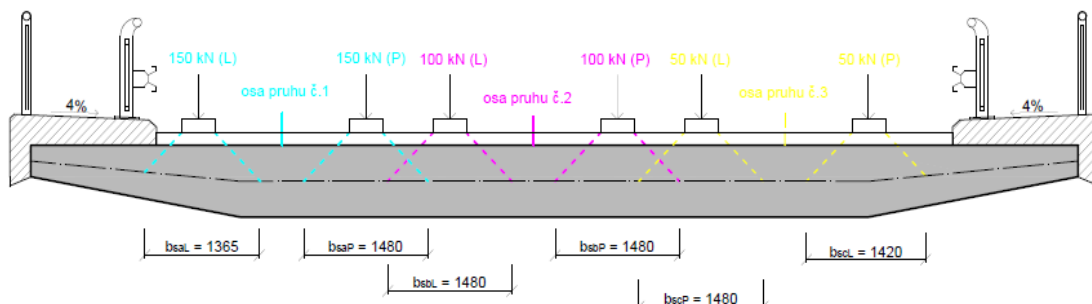
Pri premennom zaťažení bolo uvažované so zosťavami zaťaženia gr1a, gr4 a gr5. Ako premenné zaťaženie dopravou bolo možné využiť modely LM1, LM3, LM4 + zaťaženie chodcami. Zaťaženie snehom, vetrom a teplotou nebolo v tejto práci riešené.

4.1.3.1 LOAD MODEL 1

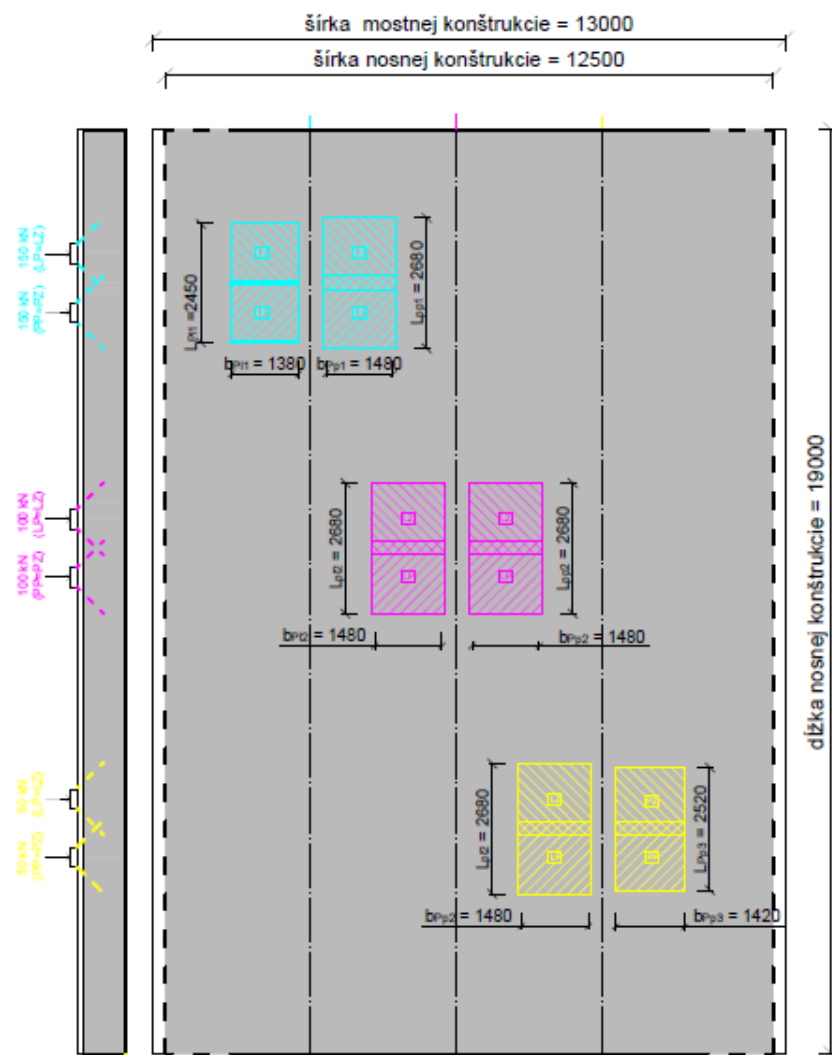
Ako prvé bola roznášaná sústava grla, ktorá spočíva z nápravového účinku (TS) a z rovnomerného zaťaženia (UDL). Tandem systém bol roznášaný pod uhlom 45° do strednice dosky, rovnomerné zaťaženie sa neroznášalo, tak bolo spustené pod uhlom 90° do strednice dosky. Všetky charakteristické hodnoty zaťaženia boli pre násobené regulačnými súčiniteľmi pre skupinu komunikácií 1.



Obr. 16 - Dosadacia plocha kolesa od TS [3]



Obr. 17 - Roznos zaťaženia v priečnom smere pre TS [1]

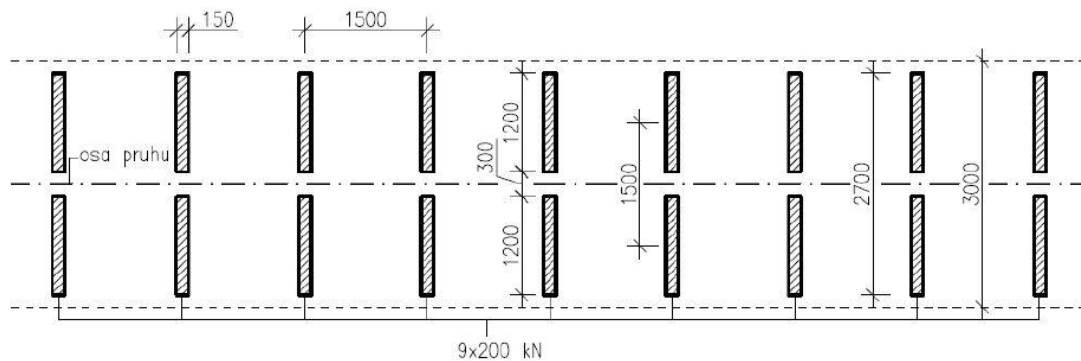


Obr. 18 - Roznos zaťaženia v pôdoryse od TS [1]

Podrobné vykreslenie roznosu zaťaženia a výsledkov pre zostavu grla nájdete v P3 – Statický výpočet. Výsledky boli overené ručným výpočtom.

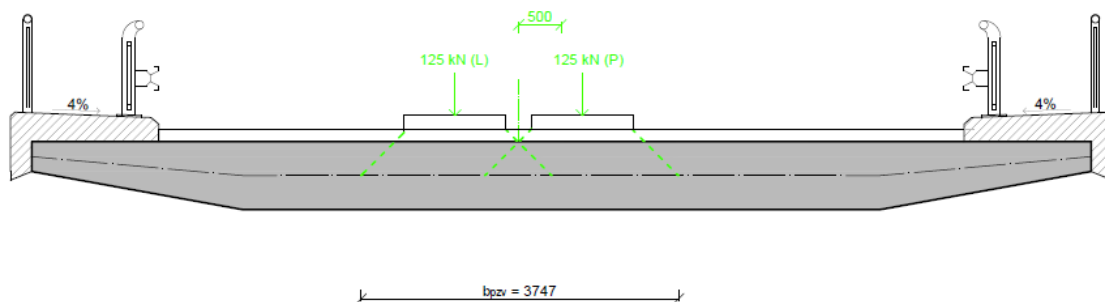
4.1.3.2 LOAD MODEL 3

Ďalším typom zaťaženia, ktorým bol most zaťažený bolo zvláštne vozidlo. Zvolený bol súbor 9 náprav po 200 kN. Aby bolo dosiahnuté čo najpresnejších výsledkov, bol účinok zvláštneho vozidla prenasobený dynamickým súčiniteľom v hodnote 1,25. V tomto prípade teda pripadalo 250 kN na jednu nápravu. Podľa aktualizácie normy bolo zvláštne vozidlo vychýlené o 0,5 m od osi mostu.



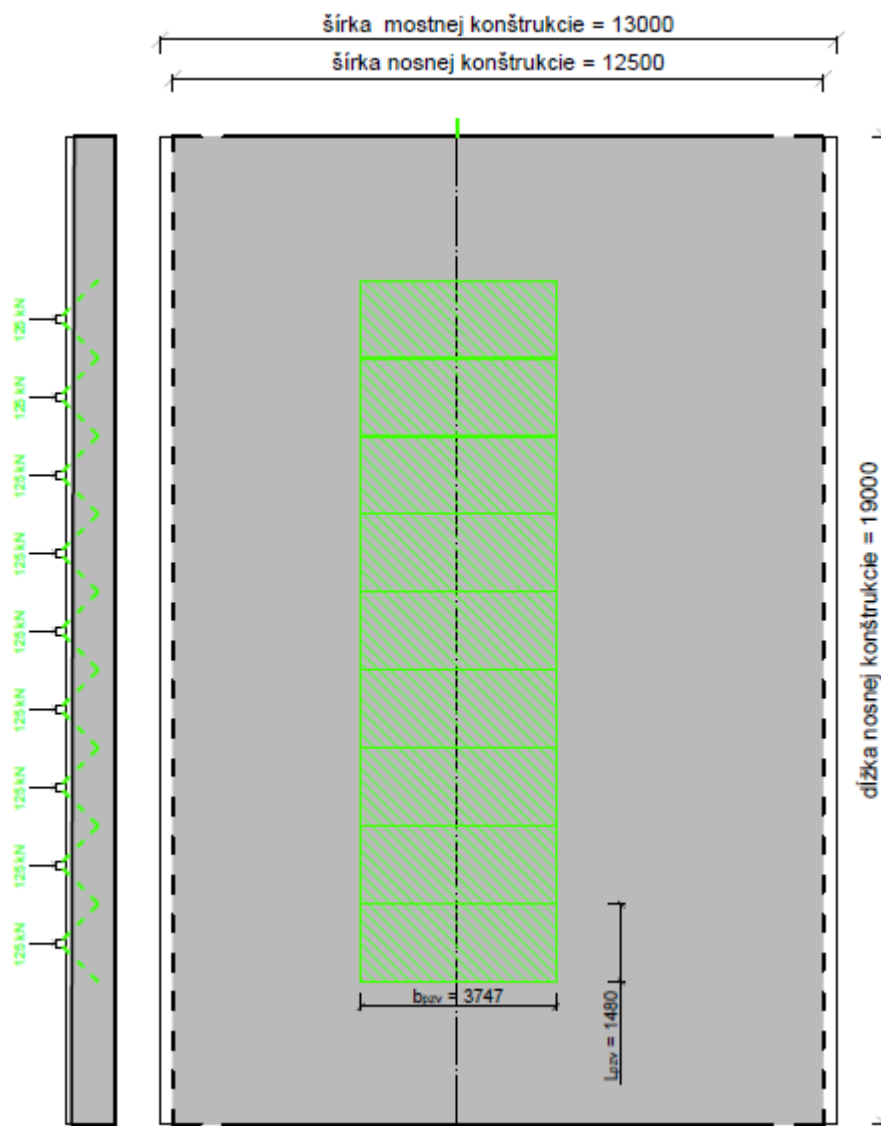
Obr. 19 - Dosedacia plocha kola od zvláštneho vozidla [3]

Zaťaženie bolo roznesené pod uhlom 45° do strednice dosky, tak isto ako v prípade od sústredného zaťaženia tandem systémom.



Obr. 20 - Roznos zaťaženia v priečnom smere od zvláštneho vozidla [1]

V prípade ručného výpočtu sa zaťaženie od nápravových účinkov zvláštneho vozidla roznáša až na dolný okraj dosky, tak isto ako pri ručnom výpočte momentov od tandem systémom.

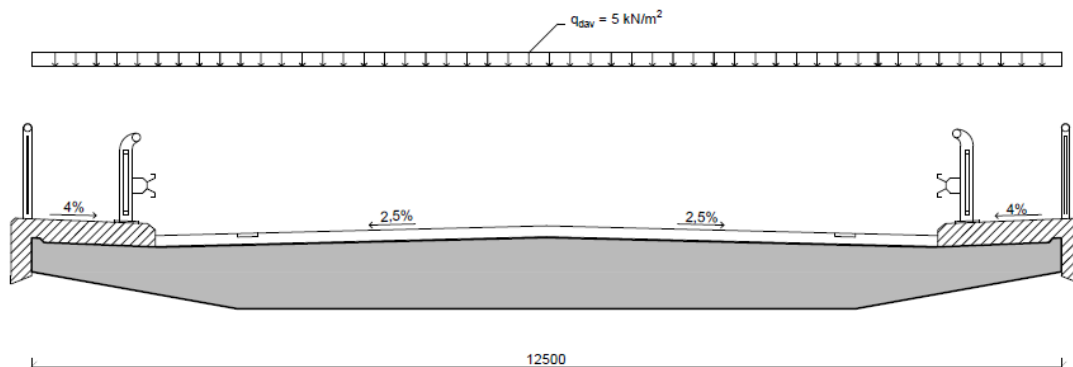


Obr. 21 - Roznos zaťažene zvláštneho vozidla v pôdoryse.[1]

Podrobne spracovaný výpočet ohybových momentov od danej zostavy aj overenie metódou vzdorujúcej šírky nájdete v P3 – Statický výpočet.

4.1.3.3 LOAD MODEL 4

Mimoriadne zaťaženie davom bolo uvažované po celej ploche mostu v hodnote 5 kN/m^2 . Plošné zaťaženie bolo zadané do výpočtového programu SCIA Engineer 2016 a následne overené ručným výpočtom.



Obr. 22 - Zaťaženie mostu davom ľudí [1]

4.1.3.4 Porovnanie výsledkov ohybových momentov

Tab. 1-Porovnanie momentov

Porovnanie momentov	Ručný výpočet [kNm]	Scia Engineer [kNm]	Rozdiel [%]
Vlastná tiaž	835,350	975,28	16,75
Ostatné stále	263,980	333,32	26,27
UDL	302,248	260,50	-13,81
Tandem system	565,343	589,01	4,19
Chodci	21,660	26,99	24,61
Zvláštne vozidlo	893,973	702,99	-21,36
Dav ľudí	225,625	209,63	-7,09

Všetky ohybové momenty boli overené metódou vzdorujúcej šírky, avšak niektoré hodnoty sa mierne líšili, čo bolo prisúdené hlavne tvaru dosky a jej skoseným krajom v priečnom smere, kde vzniká iné momentové namáhanie než bolo predpokladané v ručnom výpočte. To sa najviac prejavilo pri zvláštnom vozidle, kde bol rozdiel 21,36 %. Ďalším rozhodujúcim faktorom bolo podoprenie, ktoré nie je po celej šírke dosky, kde väčšiu časť účinkov prenáša neskosená časť, preto sa práve účinky od ostatného stáleho zaťaženia pomerne líšili. Pre ďalší výpočet boli používané hodnoty, ktoré generoval výpočtový program SCIA Engineer 2016.

5 KOMBINÁCIE

Dána konštrukcia bola posúdená na medzný stav použiteľnosti a únosnosti, pri tvorbe kombinácií bolo vychádzané z normových vzťahov. Pre medzný stav použiteľnosti vyvodzovala najväčšie účinky zostava gr1a. V medznom stave únosnosti vyvodzovali najväčšie účinky v daných smerov rôzne kombinácie. Pre dimenzačný moment v smere x vyvodila najväčšie účinky zostava gr1a v kombinácii 6.10b). V smere y to bola zostava gr5, taktiež v kombinácii 6.10b).

Podrobný výpočet kombinácií sa nachádza v prílohe P3 – Statický výpočet

5.1 Kombinácie pre medzný stav použiteľnosti

Kombinačné súčinitele pre medzný stav použiteľnosti (SLS)

TS	$\psi_1 = \psi_0 = 0,75$	$\psi_2 = 0$
UDL	$\psi_1 = \psi_0 = 0,4$	$\psi_2 = 0$
CHODCI	$\psi_1 = \psi_0 = 0,4$	$\psi_2 = 0$
ZVLÁŠTNE VOZIDLO	$\psi_1 = \psi_0 = 0$	$\psi_2 = 0$
DAV LUDÍ	$\psi_1 = \psi_0 = 0$	$\psi_2 = 0$

Charakteristická kombinácia:

$$M_{ek} = M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{TS,k} + M_{UDL,k} + M_{CH,k} = \mathbf{2184,74 \text{ kNm}}$$

5.2 Kombinácie pre medzný stav únosnosti

Kombinačné súčinitele pre medzný stav použiteľnosti (ULS)

$$\gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,35$$

$$\xi = 0,85$$

Kombinácia 6.10b) – zostava gr1a

$$\begin{aligned} M_{ed} &= \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot (M_{g0,k} + M_{g1,k}) + \gamma_Q \cdot (M_{TS,k} + M_{UDL,k} + M_{CH,k}) \\ &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot (M_{g0,k} + M_{g1,k}) + 1,35 \cdot (M_{TS,k} + M_{UDL,k} + M_{CH,k}) \\ &= \mathbf{2687,60 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Kombinácia 6.10b) – zostava gr5:

$$\begin{aligned} M_{ed} &= \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot (M_{g0,k} + M_{g1,k}) + \gamma_Q \cdot M_{ZV,k} \\ &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot (M_{g0,k} + M_{g1,k}) + 1,35 \cdot M_{ZV,k} = \mathbf{2451,03 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

6 NÁVRH PREDPÄTIA

Pri návrhu predpínacej sily sa vychádzalo z 5 podmienok obmedzenia napätia v betóne v dvoch časových intervaloch. Prvý interval je v čase predopnutia konštrukcie a zakotvenia lán (t_0) a druhý interval je v čase životnosti mostu (t_{00}). Pre stanovenie veľkosti predpínacej sily je rozhodujúcou požiadavkou zabránenie ťahových napätí v betóne a vláknach betónu priľahlých k predpínacej výstuži v čase t_{00} , pri častej kombinácii zaťaženií.

σ_1 = dolné vlákna

σ_2 = horné vlákna

6.1 Podmienky v čase t_0

a) Tlačené dolné vlákno – Pôsobí len vlastná tiaž $\rightarrow M_{g0,k} = 975,28 \text{ kNm}$

$$\sigma_1 \geq -0,6 f_{ck}$$

$$-\frac{P_{k,0}}{A_c} - \frac{P_{k,0} \cdot e_p}{w_1} + \frac{M_{g0,k}}{w_1} \geq -0,6 f_{ck}$$

$$P_{k,0} \leq \frac{-0,6 f_{ck} - \frac{M_{g0,k}}{w_1}}{-\frac{1}{A_c} - \frac{e_p}{w_1}} \leq \frac{-0,6 \cdot 30 \cdot 10^6 - \frac{975,28 \cdot 10^3}{0,107}}{-\frac{1}{0,8} - \frac{0,28}{0,107}} \leq \mathbf{9889,322 \text{ kN}}$$

b) Ťahané horné vlákno – Pôsobí len vlastná tiaž $\rightarrow M_{g0,k} = 975,28 \text{ kNm}$

$$\sigma_2 \leq f_{ctm}$$

$$-\frac{P_{k,0}}{A_c} + \frac{P_{k,0} \cdot e_p}{w_2} + \frac{M_{g0,k}}{w_2} \leq f_{ctm}$$

$$P_{k,0} \leq \frac{f_{ctm} + \frac{M_{g0,k}}{w_2}}{-\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{w_2}} \leq \frac{2,9 \cdot 10^6 + \frac{975,28 \cdot 10^3}{0,107}}{-\frac{1}{0,8} + \frac{0,28}{0,107}} \leq \mathbf{8790,290 \text{ kN}}$$

6.2 Podmienky v čase t_{00}

a) Tlačené horné vlákno → Charakteristická kombinácia → $M_{Ek} = 2184,74 \text{ kNm}$

$$\sigma_2 \geq -0,6 f_{ck}$$

$$-\frac{P_{k,\infty}}{A_c} + \frac{P_{k,\infty} \cdot e_p}{w_2} - \frac{M_{Ek}}{w_2} \geq -0,6 f_{ck}$$

$$P_{k,\infty} \geq \frac{-0,6 f_{ck} + \frac{M_{Ek}}{w_2}}{-\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{w_2}} \leq \frac{-0,6 \cdot 30 \cdot 10^6 + \frac{2184,74 \cdot 10^3}{0,107}}{-\frac{1}{0,8} + \frac{0,28}{0,107}} \leq 1769,162 \text{ kN}$$

$$P_{k,0} \geq P_{k,\infty} \cdot 1,1 = 1556,330 \cdot 1,1 = \mathbf{1946,078 \text{ kN}}$$

b) Ťahané dolné vlákno → Častá kombinácia → $M_{Ek,\psi_1} = 1865,31 \text{ kNm}$

$$\sigma_1 \leq f_{ctm} \text{ (dekompresia nahradená pevnosťou v ťahu)}$$

$$-\frac{P_{k,\infty}}{A_c} - \frac{P_{k,\infty} \cdot e_p}{w_1} + \frac{M_{Ek,\psi_1}}{w_1} \leq f_{ctm}$$

$$P_{k,\infty} \geq \frac{-f_{ctm} + \frac{M_{Ek,\psi_1}}{w_1}}{\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{w_1}} \leq \frac{-2,9 \cdot 10^6 + \frac{1865,31 \cdot 10^3}{0,107}}{\frac{1}{0,8} + \frac{0,28}{0,107}} \leq 3758,332 \text{ kN}$$

$$P_{k,0} \geq P_{k,\infty} \cdot 1,1 = 3585,037 \cdot 1,1 = \mathbf{4134,165 \text{ kN}}$$

c) Ťahané horné vlákno → Kvázistála kombinácia → $M_{Ek,\psi_2} = 1307,66 \text{ kNm}$

$$\sigma_2 \geq -0,45 f_{ck}$$

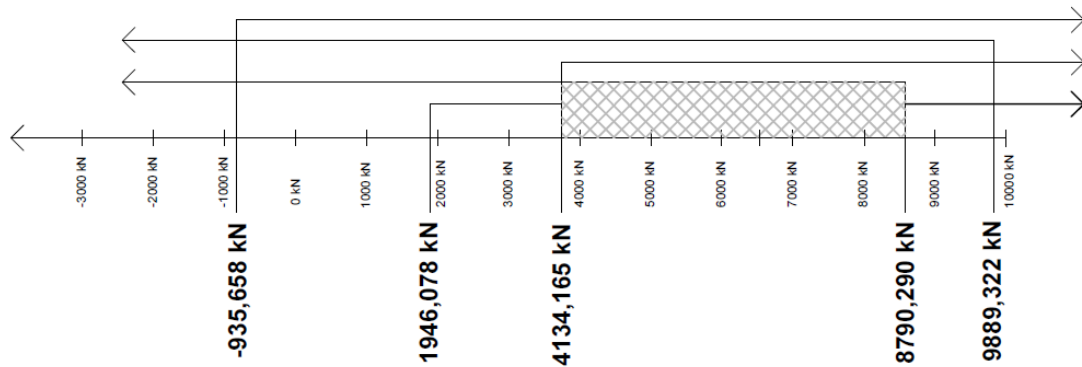
$$-\frac{P_{k,\infty}}{A_c} + \frac{P_{k,\infty} \cdot e_p}{w_2} - \frac{M_{Ek,\psi_2}}{w_2} \geq -0,45 f_{ck}$$

$$P_{k,\infty} \geq \frac{-0,45 f_{ck} + \frac{M_{Ek,\psi_2}}{w_2}}{-\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{w_2}} \leq \frac{-0,45 \cdot 30 \cdot 10^6 + \frac{1307,66 \cdot 10^3}{0,107}}{-\frac{1}{0,8} + \frac{0,28}{0,107}} \leq -823,097 \text{ kN}$$

$$P_{k,0} \geq P_{k,\infty} \cdot 1,1 = -823,097 \cdot 1,1 = \mathbf{-935,658 \text{ kN}}$$

6.3 Návrh počtu lán

Z daných podmienok obmedzení napätia v betóne bol získaný interval možnej predpínacej sily, z ktorej bol neskôr dopočítaný potrebný počet lán pre predopnutie konštrukcie.



Obr. 23 - Interval možnej predpínacej sily [1]

6.3.1 Parametre navrhnutých lán

Plocha jedného lana	$A_p = 150 \text{ mm}^2$
Počet navrhnutých lán	24 lán (4 káble po 6 lán)
Osová vzdialenosť káblov	0,25 m

Plocha výstuže: $A_{p,prov} = 24 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \geq A_{p,req} = 3,134 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

7 NÁVRH KÁBLOVÝCH DRÁH

Pri návrhu káblových dráh sa opäť vychádzalo z podmienok obmedzenia napätia, ktoré vyhradili koridor, ktorým by sa mal pohybovať priemerný kábel. K výpočtu boli potrebné momenty v osminách rozpätia v daných časoch rozhodujúcich kombináciách.

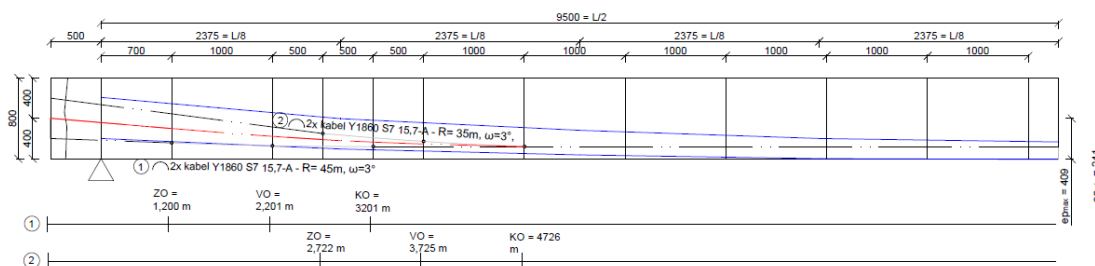
Zvolený bol variant 4 káblov po 6 lán do metra bežného kvôli rovnomernému rozmiestneniu tlakov po kotevnej oblasti. Káble boli netrasovane podľa zásad z predpätého betónu tak, aby priemerný kábel smeroval tesne pod ťažisko prierezu.

Tab. 2 - Hodnoty momentov v osminách rozpätia

Poloha (x)	0	1/8*L	2/8*L	3/8*L	4/8*L
Charakteristická k.	0	1041,590	1607,770	1007,820	2184,030
Častá k.	0	889,260	1379,300	1720,110	1884,740
Kvázistála k.	0	666,980	1031,000	1248,500	1307,650
Vlastná tiaž	0	489,020	765,010	929,430	974,820

Tab. 3 - Hodnoty excentricít v osminách rozpätia

Excentricita	1	2	3	4	5	Interval	
	$e_p \geq$	$e_p \geq$	$e_p \geq$	$e_p \geq$	$e_p \geq$	min	max
Rez 0	-0,208	-0,325	-0,210	0,547	0,200	-0,208	0,200
Rez 1/8	0,004	-0,077	-0,051	0,651	0,305	0,004	0,305
Rez 2/8	0,121	0,058	0,035	0,711	0,364	0,121	0,364
Rez 3/8	0,202	-0,085	0,087	0,746	0,399	0,202	0,399
Rez 4/8	0,241	0,195	0,101	0,755	0,409	0,241	0,409



Obr. 24 – Trasovanie káblu - graficky [1]

Prehľadný výkres trasovania predpínacej výstuže nájdete v P2- Výkresová dokumentácia.

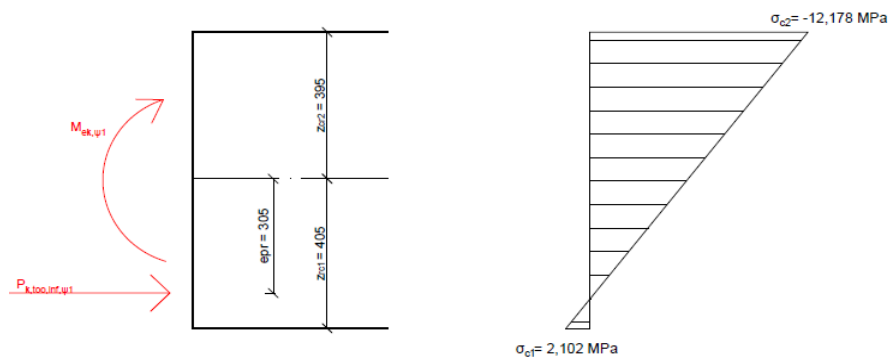
8 MEDZNÝ STAV POUŽITELNOSTI

Konštrukcia bola posúdená na medzný stav použiteľnosti, kde bolo účelom zabrániť vzniku ťahových napätí v najnepriaznivejšej častej kombinácii v čase životnosti mostu.

Častá kombinácia:

$$M_{ek,\psi_1} = 1865,31 \text{ kNm}; P_{k,t_{\infty},\psi_1,inf} = 3964,379 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{c1} &= -\frac{P_{k,t_{\infty},\psi_1,inf}}{A_c} - \frac{P_{k,t_{\infty},\psi_1,inf} \cdot e_p}{w_{cr,1}} + \frac{M_{ek,\psi_1}}{w_{cr,1}} = \\ &= -\frac{3973,224}{0,7886} - \frac{3973,224 \cdot 0,284}{0,1032} + \frac{1865,31}{0,1032} = \mathbf{2,102 \text{ MPa}} \end{aligned}$$



Obr. 25- Priebeh napätí v danej kombinácii [1]

Podrobné posúdenie a overenie všetkých podmienok obmedzenia napätia v betóne je prehľadne spracované v P3 – Statický výpočet.

9 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

9.1 Posúdenie na ohyb

Konštrukcia bola posúdená na ohybovú únosnosť a z výpočtu vyšlo navrhnutie pozdĺžnej konštrukčnej ohybovej výstuže.

$$M_{rd} \geq M_{ed}$$

$$M_{rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$M_{rd} = 0,8 \cdot 0,347 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 10^6 \cdot 0,2572 + 593,895 \cdot 10^3 \cdot 0,284$$

$$M_{rd} = 1453,843 \text{ kNm} > M_{ed} = 1433,894 \text{ kNm}$$

Navrhnutá konštrukčná pozdĺžna betonárska výstuž:

$$\text{Ø18 mm po 200 mm} \quad A_{s,pod}^d = 12,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh priečnej betonárskej výstuže

$$d = h - c - \emptyset_{sw} - \emptyset_{sl,pod} - \frac{\emptyset_{sl,prieč}}{2} = 0,8 - 0,055 - 0,018 - \frac{0,016}{2} = 0,717 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_{s,req} &= b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) \\ &= 1,0 \cdot 0,718 \cdot \frac{18 \cdot 10^6}{434,78 \cdot 10^6} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 223,80 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,717^2 \cdot 18 \cdot 10^6}} \right) \\ &= 7,278 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Navrhnutá priečna betonárska výstuž:

$$\text{Ø16 mm po 200 mm} \quad A_{s,prieč}^d = 11,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Podrobný výpočet ohybovej únosnosti a overenie konštrukčných zásad je k dispozícii v P3 – Statický výpočet.

9.2 Posúdenie na šmyk

V rámci šmykovej únosnosti vyvodzovala najnepriaznivejšie účinky zostava grla v rovnici 6.10b). Miesto vzniku trhlín bolo určené 4,713 m od podpory čo sa nachádzalo v predpokladanom intervale 1/4-1/8 rozpätia.

Návrh šmykovej výstuže v oblasti bez trhlín:

$$V_{Rd,c} = 1469,249 \text{ kN} > V_{Ed(d)} = 727,971 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$V_{Rd,c} = 1469,249 \text{ kN} > V_{Ed(1/8)} = 316,832 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$V_{Rd,c} = 1469,249 \text{ kN} > V_{Ed(x)} = 372,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

NAVRHNUTÁ KONŠTRUKČNÁ VÝSTUŽ

Návrh šmykovej výstuže v oblasti s trhlinami

$$V_{Rd,c} = 571,231 \text{ kN} > V_{Ed(2/8)} = 372,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$V_{Rd,c} = 571,231 \text{ kN} > V_{Ed(3/8)} = 193,85 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

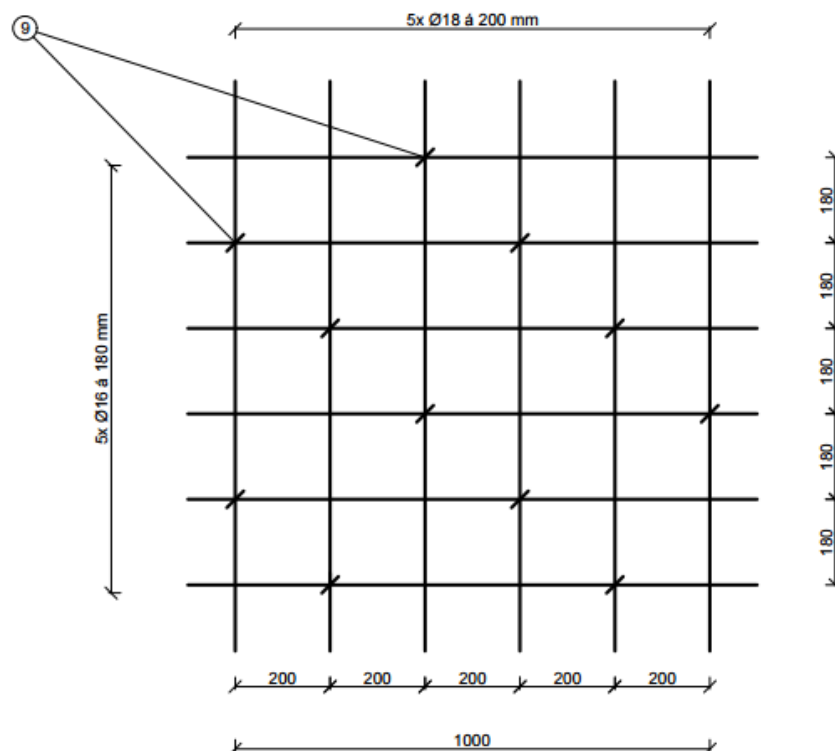
$$V_{Rd,c} = 571,231 \text{ kN} > V_{Ed(4/8)} = 10,94 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

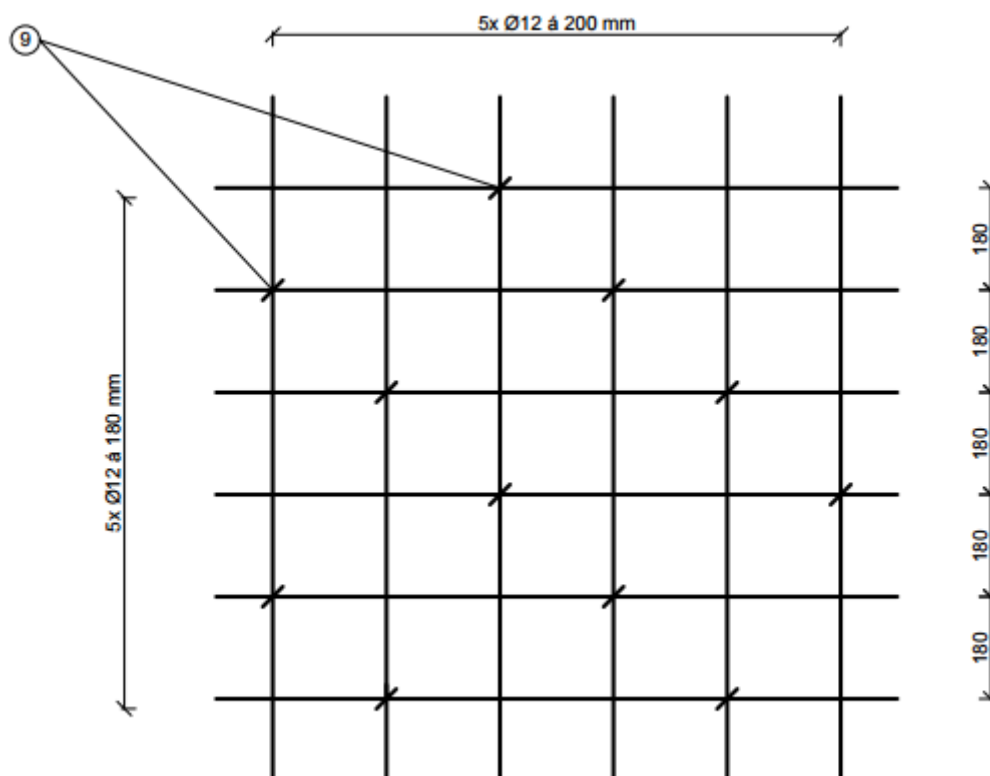
NAVRHNUTÁ KONŠTRUKČNÁ VÝSTUŽ

9.3 VÝSLEDNÉ SCHÉMA VÝSTUŽE

Schéma výstuže pri dolnom povrchu dosky:



Obr. 26 - Schéma vystuženia pri dolnom povrchu [1]

Schéma výstuže pri hornom povrchu dosky:*Obr. 27 - Schéma vystuženia pri dolnom okraji [1]*

V rámci šmykovej únosnosti bola splnená podmienka 9 spôn do m². Podrobný statický výpočet ohybovej, šmykovej únosnosti a posúdenie kotevnej oblasti nájdete v prílohe P3 - Statický výpočet.

ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnutie premostia cestnej komunikácie S 9,5 cez idealizovaný terén. Boli vypracované 3 predbežné varianty, z ktorých bol vybraný variant A ako najideálnejšia z navrhnutých možností.

Výpočtový model bol vytvorený v programe SCIA Engineer 2016 ako dosková konštrukcia s nábehovanými krajmi dosky. Konštrukcia bola zaťažená zostavami gr1a, gr4, a gr5. Výsledky z programu boli overené ručným výpočtom metódou vzdorujúcej šírky.

Konštrukcia bola posúdená na medzný stav únosnosti a medzný stav použiteľnosti podľa platných európskych noriem, podľa ktorých bol spracovaný podrobný statický výpočet.

Pre vybraný variant bola spracovaná prehľadná výkresová dokumentácia v programe CAD.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Vlastná tvorba program AUTOCAD
- [2] Vlastná tvorba program SCIA Engineer 2016
- [3] <http://www.necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK%2002%20-%20Zatizeni%20mostu%20EN.pdf>
- [4] NEČAS, KOLÁČEK, PANÁČEK. Betonové Mosty I: Zásady navrhování. Brno 2014, 240 s, ISBN 978-80-214-4979-4
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1992-2. Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [7] ZICH, Miloš a kolektiv. Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů. Praha: Dashöfer, 2010, 145 s. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [8] http://www.fce.vutbr.cz/BZK/kolacek.j/_podklady/BL11_podklad_01.pdf
- [9] http://www.fce.vutbr.cz/BZK/kolacek.j/_podklady/BL11_podklad_02.pdf

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1-Porovnanie momentov.....	23
Tab. 2 - Hodnoty momentov v osminách rozpätia.....	28
Tab. 3 - Hodnoty excentricít v osminách rozpätia.....	28

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 - Pozdĺžny rez - variant A [1]	11
Obr. 2 - Priečny rez - variant A [1]	11
Obr. 3 - Pozdĺžny rez - variant B [1]	12
Obr. 4 - Priečny rez - variant B [1]	12
Obr. 5 - Pozdĺžny rez - variant C [1]	13
Obr. 6 - Priečny rez - variant C [1]	13
Obr. 7 - Šírkové usporiadanie konštrukcie [1]	14
Obr. 8 - Zloženie vozovky [1]	15
Obr. 9 - Rozmery rímsy [1]	15
Obr. 10 - Usporiadanie záchytných systémov [1]	16
Obr. 11 - Prierez so skutočnou výškou [1]	17
Obr. 12 - Prierez s prepočítanou výškou [1]	17
Obr. 13 - Výpočtový model doskovej konštrukcie [2]	17
Obr. 14 - Zaťaženie vlastnou tiažou - ručný výpočet [1]	18
Obr. 15 - Zaťaženie mostu ostatným stálym zaťažením [1]	18
Obr. 16 - Dosadacia plocha kolesa od TS [3]	19
Obr. 17 - Roznos zaťaženia v priečnom smere pre TS [1]	19
Obr. 18 - Roznos zaťaženia v pôdoryse od TS [1]	20
Obr. 19 - Dosedacia plocha kolesa od zvláštneho vozidla [3]	21
Obr. 20 - Roznos zaťaženia v priečnom smere od zvláštneho vozidla [1]	21
Obr. 21 - Roznos zaťažene zvláštneho vozidla v pôdoryse.[1]	22
Obr. 22 - Zaťaženie mostu davom ľudí [1]	23
Obr. 23 - Interval možnej predpínacej sily [1]	27
Obr. 25 – Trasovanie káblu - graficky [1]	28
Obr. 26- Priebeh napätí v danej kombinácii [1]	29
Obr. 27 - Schéma vystuženia pri dolnom povrchu [1]	31
Obr. 28 - Schéma vystuženia pri dolnom okraji [1]	32

10 ZOZNAM PRÍLOH

P1 - VARIANTY, PODKLADY, VIZUALIZÁCIA

P2 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTÁCIA

P3 - STATICKÝ VÝPOČET